

УДК 621.315.612

ГРНТИ 29.19.31

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ГРАНУЛЯЦИИ ПОРОШКА НА ИМПУЛЬСНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ ОКСИДНО-ЦИНКОВЫХ ВАРИСТОРОВ

Архипов И.А., Мишин П.А., Смирнова Н.Ю.

АО «Хакель»

В работе проведён сравнительный анализ влияния технологии подготовки порошка на характеристики оксидно-цинковых варисторов. Исследованы два метода: традиционный помол с сушкой и распылительная сушка с комплексной органической связующей системой. Установлено, что использование распылительной сушки позволяет получить более однородную структуру порошка и повысить предельный импульсный ток варисторов в 2 раза по сравнению с традиционной технологией.

Ключевые слова: оксидно-цинковые варисторы, микроструктура, распылительная сушка, импульсная устойчивость.

INFLUENCE OF POWDER GRANULATION METHOD ON THE PULSE STABILITY OF ZINC OXIDE VARISTORS

Arkhipov I.A., Mishin P.A., Smirnova N.Y.

Hakel, JSC

The work presents a comparative analysis of the influence of powder preparation technology on the characteristics of zinc oxide varistors. Two methods were investigated: traditional grinding with drying and spray drying with a complex organic binder system. It was found that the use of spray drying allows to obtain a more homogeneous powder structure and increases the limiting pulse current of varistors by 2 times compared to the traditional technology.

Keywords: zinc oxide varistors, microstructure, spray drying, pulse stability.

Оксидно-цинковые варисторы (ZnO-MOV) широко используются для защиты электрооборудования от импульсных перенапряжений. Их характеристики критически зависят от микроструктуры керамики, которая определяется технологией подготовки исходного порошка [1, 2]. В последние годы возрастающий интерес вызывает метод распылительной сушки, позволяющий получать гранулы с узким распределением размеров и улучшенной текучестью [3, 4].

Исследовались два типа порошков с одинаковым составом на основе системы ZnO с добавками Bi_2O_3 , Sb_2O_3 , Co_3O_4 , MnO_2 и др. Порошок A_1 получали традиционным методом: помол в шаровой мельнице, сушка, добавление связующего. Порошок A_2 получали методом распылительной сушки с комплексной органической связкой. Прессование образцов проводили на прессе ПКТУ-25, для образцов материала A_1 максимальное давление прессования составляло 140 МПа (при дальнейшем увеличении давления возникало расслаивание), для порошка A_2 — 210 МПа. Обжиг осуществляли по двухступенчатому режиму: медленный нагрев со скоростью 3 °С/мин до 400 °С с выдержкой 2 ч (удаление связующего), затем спекание с выдержкой 2 ч при 1100 °С. Охлаждение проводилось в режиме естественного остывания печи.

Контактные площадки формировались методом нанесения серебрясодержащей пасты с последующим вжиганием при 780 °С. Для определения распределения частиц по размеру был проведен гранулометрический анализ порошков с использованием лазерного дифрактометра Malvern Mastersizer. Микроструктурные исследования порошков проводили с помощью растровой электронной микроскопии (Tescan Vega II) с ЭДС-анализом (INCA X-MAX). Измерение классификационного напряжения, коэффициента нелинейности и тока утечки проводили с помощью тестера варисторов Jinko JK 2517. Для оценки импульсной устойчивости образцов варисторов провели импульсные испытания с использованием генератора Hakel Gun HG 60/60F (форма импульса 8/20 мкс). Для регистрации осциллограмм напряжения и тока был использован осциллограф Tektronix TDS 2012B.

Гранулометрический анализ показал существенное различие в распределении частиц. Для порошка A_1 характерно наличие крупных агломератов ($d_{90} = 390,44$ мкм), в то время как порошок A_2 демонстрирует узкое распределение ($d_{90} = 49,93$ мкм). Микроструктурные исследования подтвердили высокую химическую и морфологическую однородность порошка A_2 , тогда как для A_1 наблюдалась выраженная агломерация и

сегрегация компонентов. Электрические характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Электрические параметры варисторов

Материал		A ₁	A ₂
Электрические параметры образцов до испытаний			
Классификационное напряжение, U _к , В	Прямая полярность	398,6	431,5
	Обратная полярность	401,4	433,2
Коэффициент нелинейности, α	Прямая полярность	69,7	69,7
	Обратная полярность	68,2	68,7
Ток утечки, I _{ут} , мкА	Прямая полярность	0,1	0,2
	Обратная полярность	0,0	0,1
Напряжение ограничения U _{огр} , В		1240	1340
Максимальный импульсный ток I _{max} , А		3440	6880
Электрические параметры образцов после испытаний, одиночный импульс 8/20			
Классификационное напряжение, U _к , В	Прямая полярность	397,5	411,1
	Обратная полярность	390,9	387,8
ΔU _к , %	Прямая полярность	-0,28%	-4,73%
	Обратная полярность	-2,62%	-10,48%
Коэффициент нелинейности, α	Прямая полярность	41,8	25,4
	Обратная полярность	35,6	21,2
Ток утечки, I _{ут} , мкА	Прямая полярность	1,3	7,8
	Обратная полярность	2,3	13,5

До испытаний варисторы на основе материалов A₁ и A₂ имели сопоставимые характеристики: классификационное напряжение (U_к ≈ 430 В), высокий коэффициент нелинейности (α ≈ 69) и низкие токи утечки (0,0–0,2 мкА), что подтверждает качественное формирование межзеренных барьеров. В процессе испытаний предельные значения оказались выше у материала A₂ (U_{огр} = 1340 В, I_{max} = 6880 А против 1240 В и 3440 А для A₁), что указывает на почти двукратное превосходство по способности рассеивать энергию.

После испытаний наблюдалась деградация параметров у обоих материалов, более выраженная для материала A_2 вследствие принятых больших нагрузок: снижение U_k (до $-10,5\%$), уменьшение α и рост токов утечки ($7,8\text{--}13,5\text{ мкА}$). Тем не менее, варисторы из материала A_2 обладают значительно большим запасом по энергоёмкости и обеспечивают более надёжную защиту оборудования от мощных импульсных перенапряжений.

Показано, что распылительная сушка формирует узкое гранулометрическое распределение и исключает агломераты, что обеспечивает двукратное повышение импульсной устойчивости варисторов. Однако, зафиксированная деградация параметров при предельных нагрузках указывает на необходимость оптимизации состава и оценки долговременной стабильности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gupta T.K. Application of zinc oxide varistors // Journal of the American Ceramic Society. 1973. Vol. 55. No. 10. P. 493–500.
2. Clarke D.R. Varistor ceramics // Journal of the American Ceramic Society. 1999. Vol. 82. No. 3. P. 485–502.
3. Nahm C.W. Influence of Bi_2O_3 and Sb_2O_3 on ZnO varistors // Ceramics International. 2002. Vol. 28. No. 1. P. 63–70.
4. Matsuoka M. Non-ohmic properties of ZnO ceramics // Japanese Journal of Applied Physics. 1971. Vol. 10. No. 6. P. 736–746.